CENTRE DE RECHERCHE
SUR LES TRANSPORTS
(C.R.T.)
CENTRE FOR RESEARCH
ON TRANSPORTATION

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
C.P. 6128, SUCCURSALE A
MONTRÉAL
CANADA H3C 3J7

TÉLÉPHONE : (514) 343-7575
EMAIL : crt@crt.umontreal.ca
TÉLÉCOPIEUR (FAX) : (514) 343-7121

92-07822/

CRT-847

Planification des réseaux de transport routier en fonction de la notion de fiabilité

par

Brunilde Sansó[1]

[1] Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, C.P. 6128, succursale A, Montréal, Canada H3C 3J7.

Centre de recherche sur les transports — Publication #847

Août 1992

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec,
Bibliothèque nationale du Canada, 1992

RÉSUMÉ

Cette étude présente une méthodologie généralisée qui tient compte des accidents et de la probabilité d'avoir un accident dans la planification du transport routier. La méthode utilisée se base sur l'énumération partielle des états les plus importants du réseau routier et sur l'évaluation d'une mesure de performance convenable, à l'aide de modèles d'affectation du trafic qui tiennent compte du comportement dynamique d'un accident.

Mots-clés : réseaux routiers; fiabilité, accidents, affectation du trafic, énumération d'états.

- - - - - - - - - - - -

ABSTRACT

We present a generalized framework which explicitly takes into account accidents and accident probability in vehicle transportation planning. The method used is based on a partial enumeration of the most relevant states of the system and on evaluating a suitable performance measure by means of a modified traffic assignment model.

Key words : vehicle transportation, reliability, accidents, traffic assignment, state enumeration.

Problématique

1.1 Accidents et affectation du trafic

Les modèles traditionnels utilisés en planification du transport (voir par exemple Florian (1982)) étudient des paramètres tels que l'assignation du trafic, les trajets utilisés par les automobiles, les temps moyens de parcours par paire origine-destination (O/D), dans des conditions "normales" de fonctionnement du réseau. Le terme "normal" signifie ici que la notion d'accident et de probabilité d'accident n'a pas été, de façon explicite, considérée dans ce type de modèle.

La réalité est très différente. En pratique, les accidents peuvent changer complètement la performance d'un réseau. Une route qui, en temps normal, présente très peu de congestion peut se voir tout à coup devenir très congestionnée si un accident survient sur un chemin alternatif. De la même façon, si le temps moyen du parcours d'une paire O/D est peu élevé dans des conditions de bon fonctionnement et qu'au moins une fois par semaine il y a un accident important qui survient dans une des artères principales de la route correspondante à l'O/D, il se peut que cette route ne soit plus tellement souhaitable par les usagers. Deux notions devraient donc s'ajouter aux modèles traditionnels d'équilibre en trafic : la notion d'accident et celle de probabilité d'accident. C'est ce que l'on appelle ici "notion de fiabilité".

1.2 Notion de fiabilité et transports

Du côté de la fiabilité, il ne s'agit pas d'un paramètre très étudié dans les réseaux de transports de véhicules. Ceci est dû, principalement, à la difficulté de trouver une bonne mesure pour ce type de réseau.

Une mesure classique de fiabilité de réseau est la probabilité de connexité entre deux points donnés. Ce type de mesure est relié, principalement, à la structure du réseau et non pas à la capacité physique du réseau à se réajuster à une situation d'accident.

Le réseau urbain étant connexe, même après des accidents importants, les mesures mentionnées ne reflètent pas l'impact des accidents sur le réseau. De plus, la plupart de ces mesures donnent lieu à des problèmes difficiles (voir Ball, 1979). Il serait donc pratiquement impossible d'évaluer ces mesures pour un réseau urbain de taille réelle. La problématique du calcul des mesures de fiabilité est traitée dans la thèse de Sansó (1988). Nous référons le lecteur intéressé à ce travail.

2. Bref survol bibliographique

Malgré la difficulté à trouver de bonnes mesures de performance en transport, quelques auteurs se sont attaqués de différentes façons au problème de l'évaluation de la fiabilité de ces réseaux (voir, par exemple, Hagstrom (1983); Jordan et Turnquist (1979); Turnquist et Bowman (1980); et Sansó et Soumis (1991)).

Sansó et Soumis ont proposé une méthode généralisée pour évaluer une mesure de fiabilité pour plusieurs types de réseaux de flot. Leur approche est basée, d'une part, sur le fait qu'une bonne mesure de fiabilité doit refléter la capacité du réseau à transmettre du flot et, d'autre part, son habilité à se réajuster après une panne. Selon cette idée, la fiabilité dans les réseaux de flot doit dépendre non seulement de la structure du réseau, mais aussi des décisions d'acheminement après une panne.

Il faut donc que les notions d'accident, de fiabilité et de performance soient reliées aux modèles d'acheminement du trafic. Deux problèmes qui se rattachent à ce point peuvent être identifiés.

Le premier problème s'énonce comme suit: comment le conducteur se comporte-t-il sachant qu'il existe une possibilité d'accident dans le réseau? Ceci a déjà été traité dans la littérature sur les modèles d'équilibre stochastique (voir Dial (1977); Sheffi et Powell (1981) et (1982); Mirchandani et Soroush (1987) et ses nombreuses références).

Le deuxième problème, lui s'énonce comme suit: comment le trafic se réajustera-t-il pendant l'accident? Ce problème, bien qu'il n'ait pas été étudié dans

un contexte de fiabilité de réseau, touche au domaine des modèles dynamiques d'assignation du trafic (voir Iida et Kitamura (1990); Drissi et Hameda (1992)).

3. Objectif

Nous proposons un modèle adapté aux réseaux de transport urbain dont le but est d'estimer certains paramètres de performance du réseau, étant donné que des accidents surviennent et qu'ils ont une probabilité d'occurrence qui leur est associée. Chaque accident crée un scénario de panne (le terme **panne** est formellement défini dans la prochaine section). Pour chaque scénario considéré, il s'agit d'évaluer un paramètre de coût tel que le temps moyen de parcours par paire O/D. Chacun de ces scénarios constitue un état du système (la définition d'un **état** sera aussi donnée plus en détail dans la section 4). Lorsque la valeur des paramètres de performance est connue pour tous les scénarios considérés, des statistiques telles que la distribution, la moyenne ou la variance des paramètres étudiés nous donneront une mesure de la performance du réseau.

La mesure de performance permettra au planificateur d'évaluer le réseau sous une optique plus proche de la réalité et, si nécessaire, de prendre des mesures correctives qui tiennent compte de scénarios de fonctionnement beaucoup plus réalistes.

Tel que montré par la figure 1, les accidents ont un impact sur le réseau. L'évaluation de la performance permet de trouver des mesures correctives au réseau. Ces mesures permettront de diminuer les coûts d'exploitation et, éventuellement, pourraient avoir un effet bénéfique sur l'incidence de l'accident.

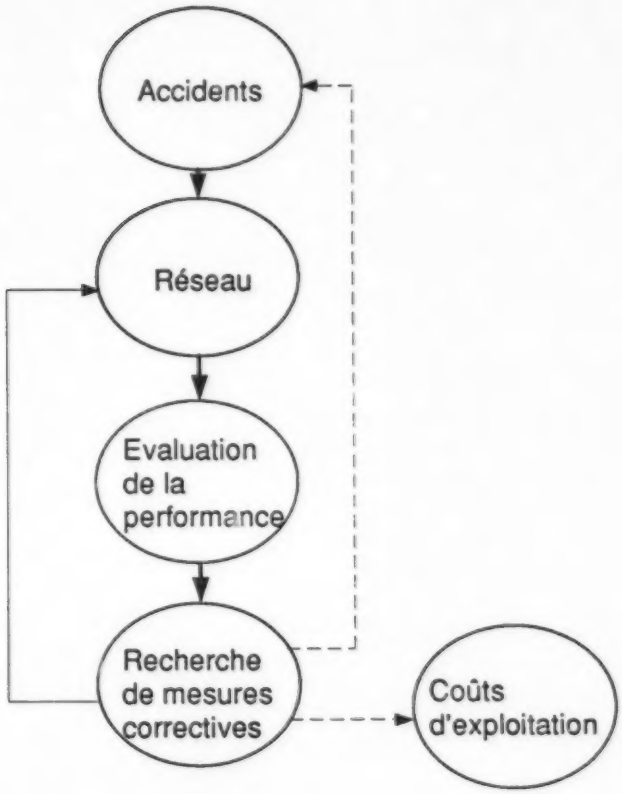

Figure 1: Schéma de planification du transport routier en tenant compte des accidents.

4. Méthodologie

Avant de montrer la méthodologie proposée, nous allons tout d'abord introduire des définitions pertinentes.

Panne : une panne constitue la diminution de la capacité d'un arc. Lorsqu'un accident survient, la capacité de l'arc est dégradée d'après la gravité de l'accident lui-même. Par simplicité de modélisation, nous pouvons attribuer trois niveaux de panne possible : celle qui réduit la capacité totale de l'arc de 25 %, 50 % ou 100 %.

État : un état se caractérise par le niveau de capacité de tous les arcs du système. Par exemple, si tous les arcs fonctionnent, nous aurons un état; si un arc tombe en panne totale (dégradation de 100 % de sa capacité), nous aurons un état différent.

Passons maintenant à la présentation de notre méthodologie. Auparavant, mentionnons les points dont elle se compose pour ensuite en exposer les détails.

1. Énumérer les états les plus importants du système.
2. Calculer ou attribuer une probabilité d'existence à chacun de ces états.
3. Résoudre le problème d'affectation du trafic pour chaque état considéré.
4. Évaluer la fonction de coût, c'est-à-dire les paramètres de performance qui nous intéressent, à l'intérieur de chaque état.
5. Trouver les statistiques voulues.

Nous référons le lecteur à la figure 2 où la méthodologie est présentée de façon schématique. Le premier point mentionné dans notre méthodologie se rapporte à l'énumération des états les plus importants du système. Dans des réseaux de télécommunications (voir Sansó (1988)) où une méthodologie similaire a été utilisée, les états les plus importants étaient ceux dont la probabilité d'existence était la plus élevée. La situation est différente en transport. Or, le planificateur peut choisir a priori les états qui l'intéressent le plus en faisant abstraction du fait que ces états aient ou non les probabilités d'existence les plus élevées. Par exemple, dans une ville comme Montréal, on pourrait considérer uniquement les états d'accidents sur les ponts de communication de la ville et sur les grandes artères de circulation (les autoroutes, par exemple).

Le deuxième point de notre méthodologie se réfère au calcul ou à l'attribution d'une probabilité pour chacun des états d'accident considérés. On peut, à partir de données statistiques existantes, calculer les probabilités de panne sur chaque tronçon du réseau pendant la période d'étude. Si aucune statistique n'est alors disponible, il s'agit alors de les estimer à partir de situations semblables ou bien de les fixer de façon arbitraire. Il est intéressant de mentionner que, dans ce dernier cas, la probabilité de panne d'un arc peut être considérée non pas comme une donnée, mais plutôt comme un paramètre dont la variation intervient dans la mesure de performance du réseau.

Les troisième et quatrième points de la méthodologie proposée sont bien connus dans le domaine du transport. Lorsque l'état considéré est celui où il n'y a pas d'accident, il s'agit d'un modèle traditionnel d'équilibre en transport.

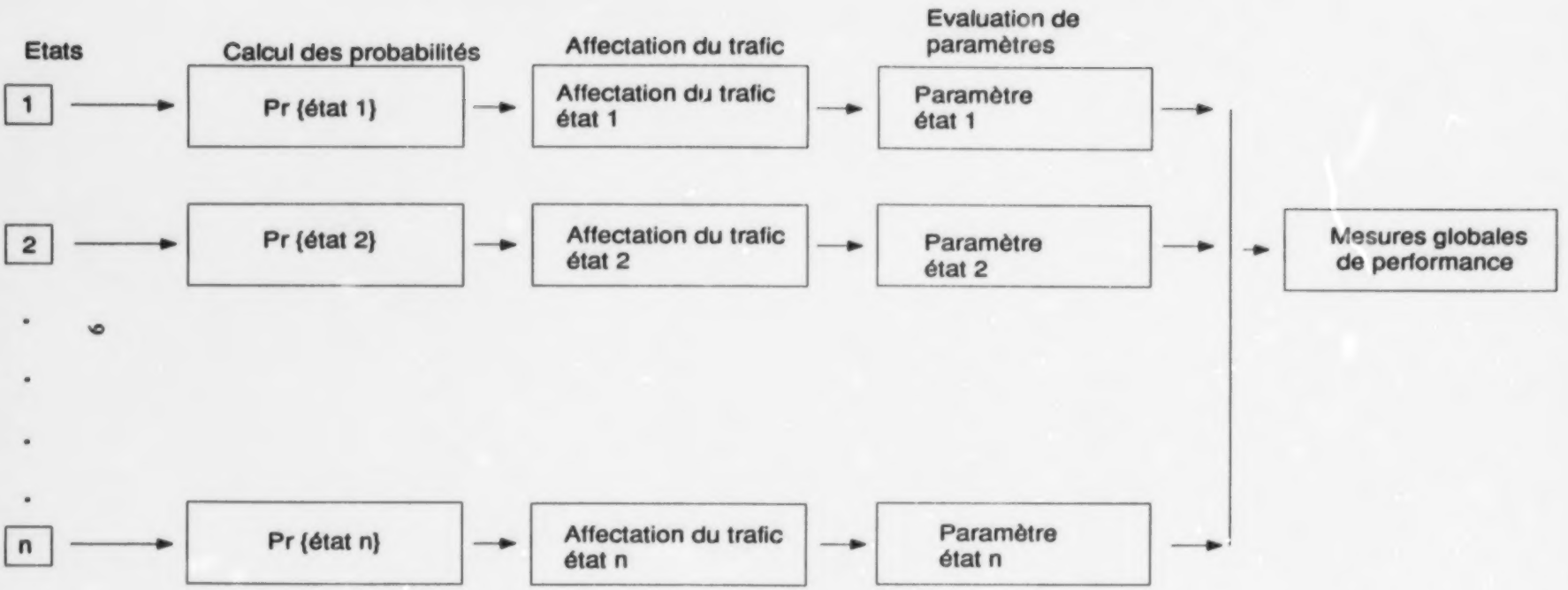

Figure 2: Schéma méthodologique pour l'évaluation de la performance d'un réseau de transport

Cependant, lorsque l'état étudié est un état de panne, tel que mentionné dans les sections précédentes, le modèle approprié serait un modèle d'affectation dynamique du trafic.

Finalement, on pourrait évaluer des mesures telles que la distribution, l'espérance mathématique et la variance du temps de parcours par paire O/D, étant donné qu'on considère les états les plus importants du système.

5. Remarques et conclusions

Nous avons exposé une méthodologie de calcul d'une mesure de fiabilité/performance pour des réseaux de transport. Celle-ci constitue un outil nouveau pour le planificateur ainsi que pour l'évaluateur de ce type de réseau, car elle considère le réseau sous une optique de probabilité d'accident. En effet, à notre connaissance, c'est la première fois que cette approche est appliquée en réseaux de transport.

La méthodologie est particulièrement intéressante pour l'étude de la performance de ponts ou d'autoroutes existants ou en planification. Cette dernière a un impact important sur les points suivants.

5.1 Évaluation de la qualité du réseau routier existant

Le calcul des probabilités d'occurrence de pannes et l'estimation de paramètres, tels que la distribution moyenne et la variance des temps de calcul, nous donnent une idée de la performance du réseau en étude. Par exemple, si l'on estime que pour une paire O/D donnée la probabilité d'un temps de parcours élevé ou la variance du temps de parcours est très grande, cela peut expliquer l'effet d'un changement de mode de transport des usagers de cette paire O/D. Il est à remarquer que cette situation peut être étudiée grâce au fait qu'on évalue le réseau en fonction de la notion d'existence de pannes avec une probabilité qui leur est associée. En effet, si l'on ne considère pas l'étude des pannes, il est possible d'obtenir, pour la paire O/D en question, un temps moyen de parcours acceptable tandis que, sous un modèle qui étudie la possibilité d'accidents, le

temps de parcours peut être élevé pour le pire scénario (grande variance du temps de parcours).

5.2. Évaluation du réseau modifié

Lorsque certaines modifications reliées à la circulation des véhicules ou aux règles de trafic du réseau sont introduites par le planificateur, la méthodologie proposée permet de mieux évaluer ces modifications dans des conditions proches de la réalité, c'est-à-dire des conditions où les accidents existent et influencent la performance du réseau.

5.3 Évaluation de l'introduction ou l'élimination d'artères de circulation

La méthodologie montrée est particulièrement utile lorsque des artères de circulation sont en planification ou en voie d'agrandissement. Pour le premier cas, on peut toujours étudier l'effet de l'introduction d'une nouvelle route sur la circulation, en présence d'un scénario de pannes. Pour le deuxième cas, lorsque certains travaux sont effectués sur une artère afin d'améliorer la circulation future du réseau, il est nécassaire de déterminer la capacité de l'artère en question ou de la fermer complètement. Notre modèle permet de modéliser cette situation de détérioration de l'artère comme une panne de l'arc et d'étudier le comportement du réseau si d'autres types de pannes surviennent (dans les arcs adjacents, par exemple). On fait une parenthèse pour indiquer que ce même type de modélisation est évidemment valable pour estimer l'impact de certains travaux de la ville qui requièrent la fermeture ou la diminution de la capacité de certaines artères.

5.4 Recherche de mesures correctives

Si le réseau étudié s'avère problématique, notre méthodologie permet non seulement d'évaluer la performance du réseau, mais aussi d'identifier ses points faibles et, donc, les mesures correctives pour améliorer cette performance.

Nous sommes présentement dans la phase d'implantation du modèle. Une des difficultés majeures auxquelles nous faisons face est la non-disponibilité de logiciels d'affectation dynamique en transport. Nous implantons présentement un modèle approximatif qui, à l'aide d'un logiciel traditionnel d'affectation du trafic, tel que EMME–2, pourrait reproduire le comportement dynamique du réseau de transport après un accident.

6. Références

Ball, M.O. (1979) "Computing Network Reliability", *Operations Research* 27(4), 823–838.

Dial, R.B. (1971) "A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model Which Obviates Path Enumeration", *Transportation Research* 5, 83–111.

Drissi-Kaitouni, O. et Hamada-Benchekroun, A. (1992) "A Dynamic Traffic Assignment Model and a Solution Algorithm", *Transportation Science* 26, 119–128.

Florian, M. (1982) "An Introduction to Network Models Used in Transportation Planning", publication #262, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

Hagstrom, J.N. (1983) "Using the Decomposition-Tree of a Network in Reliability Computation", *IEEE Transactions on Reliability* 32, 71–78.

Iida, Y. et Kitamura, R. (1990) "Dynamic Travel Behavior Analysis", Special issue, *Transportation Research* 24A.

Jordan, W.C. et Turnquist, M.A. (1979) "Zone Scheduling of Bus Routes to Improve Service Reliability", *Transportation Science* 13 (3), 242–268

Mirchandani, P. et Soroush, H. (1987) "Generalized Traffic Equilibrium With Probabilistic Travel Times and Perceptions", *Transportation Science* 21(3), 133–151.

Sansó, B. et Soumis, F. (1991), "Communication and Transportation Networks Reliability Using Routing Models", *IEEE Transactions on Reliability* 40 (1), 29–38.

Sansó B. (1988) "Fiabilité et routage dans un réseau de télécommunications", thèse de doctorat, publication #602, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

Sheffi, Y. et Powell, W. (1981) "A Comparison of Stochastic and Deterministic Traffic Assignement Over Congested Networks", *Transportation Research* 15B, 53–64

Sheffi, Y. et Powell, W. (1982) "An Algorithm for the Equilibrium Assignment Problem with Random Link Times", *Networks* 12, 191–207

Turnquist, M.A. et Bowman, L.A. (1980) "The Effect of Network Structure on Reliability of Transit Service", *Transportation Research* 14B, 79–86.